

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y TELECOMUNICACIONES**



**Trabajo Monográfico para optar al Título de**  
**Ingeniero en Telecomunicaciones**

**“Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial**  
**Metrocentro”**

**Elaborado por:**

- |                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| - Wilfredo Enmanuel Cano Aguirre   | 2008-22309 |
| - Michael Alexander Bojorge Ocampo | 2009-31940 |
| - Byron de Jesús Vanegas Obregón   | 2009-32088 |

**Tutor: Msc. Ing. Cedrick Dalla Torre**

**Managua, Nicaragua Diciembre de 2014**

## **DEDICATORIA**

**A Dios** nuestro Señor por habernos dado la sabiduría de seguir adelante, obviando obstáculos que se nos presentaron en el camino.

**A DOCENTES** que nos formaron en todo el transcurso de nuestros estudios, por sus consejos y enseñanzas.

**A nuestros padres** por su apoyo, tiempo, amor incondicional y por los sabios consejos que nos han brindado durante este camino.

## AGRADECIMIENTO

**A Dios** por habernos regalado la vida, darnos sabiduría y fuerza para salir adelante, por habernos permitido conocer personas que nos han apoyado para cumplir parte de nuestras metas.

**De forma muy especial a nuestro tutor** por el tiempo dedicado para guiarnos en el mundo investigativo tanto de manera académica como profesionalmente.

**A todas las personas** que de una u otra manera han colaborado con nosotros en la realización de este trabajo.

## **RESUMEN**

El presente documento se desarrolla una propuesta de diseño de un sistema indoor en el centro comercial METROCENTRO, de modo que esta pueda mejorar la cobertura y la calidad de servicio de comunicación de telefonía móvil. Esto se logrará mediante un estudio técnico del entorno de interés que nos permitirá conocer cuáles son los factores que afectan la comunicación en este lugar e identificar los detalles necesarios a tener en cuenta en el estudio para poder proponer una tecnología que venga a mejorar los servicios prestados por los operadores de telefonía móvil desde una perspectiva Infraestructura-Servicio-Usuario Final.

## **INDICE**

**i. DEDICATORIA**

**ii. AGRADECIMIENTO**

**iii. RESUMEN**

### **CAPITULO I. GENERALIDADES**

1.1.INTRODUCCION .....	7
1.2.ANTECEDENTES .....	8-10
1.3.JUSTIFICACION.....	11
1.4.OBJETIVOS .....	12

### **CAPITULO II. TELEFONIA MOVIL**

2.2. CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS CELULARES.....	15-16
2.3. SISTEMAS INDOOR.....	17
2.4. MODELOS DE PROPAGACION.....	18
2.5. PLANIFICACION CELULAR.....	19
2.6. LOS RETOS DE LA TELEFONIA MOVIL ACTUAL.....	20
2.7. INGENIERIA DE TRAFICO (TELECOMUNICACIONES).....	20
2.8. DEMANDA DE SERVICIOS .....	20
2.9. NATURALEZA DEL SERVICIO .....	21
2.10. DIMENSIONADO DE EQUIPOS .....	22

### **CAPITULO III TECNOLOGIA 3G**

3.1. ARQUITECTURA DE RED 3G.....	23
----------------------------------	----

## **“Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”**

3.2.	SERVICIOS DE LA TECNOLOGIA 3G.....	24-25
3.3.	CALIDAD DE SERVICIO .....	26
3.4.	ADMINISTRACION DE SERVICIOS.....	27
3.5.	SERVICIO DE DATOS .....	28

### **CAPITULO IV. MODELOS DE PROPAGACION INDOOR**

4.1.	MODELOS DE PARTICIONES EN EL MISMO PISO .....	32
4.2.	MODELO DE ERICSSON DE MULTIPLE PUNTO DE RUPTURA.....	32
4.3.	MODELO DE PERDIDAS POR PARTICION ENTRE PISOS .....	33
4.4.	MODELO DE FACTOR DE ATENUACION.....	34-36
4.5.	MODELO DE PENDIENTE DUAL.....	37
4.6.	MODELO MULTI-PARED/COST 231.....	38-39

### **CAPITULO V. ESTUDIO DE CASO: CENTRO COMERCIAL METROCENTRO**

5.1.	COBERTURA.....	40
5.2.	NIVELES DE RSCP.....	41
5.3.	RSCP.....	45
5.4.	TRHOUGHPUT.....	47
5.5.	ANALISIS DE ESTUDIO.....	48-53
5.6.	SIMULACION DE LA PROPAGACION PARA EL SITEMA INDOOR.....	53-54

### **CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....55**

### **CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA.....56-58**

## **INTRODUCCION**

Las empresas de telecomunicaciones han estado en continuo desarrollo en cuanto a la mejora de los servicios prestados de acuerdo a los convenios de operación de cada país, dentro de estos convenios están los de garantizar una amplia gama de servicios de alta calidad y menores costos posibles a todos los habitantes dentro de su área de cobertura; Esto solo se logra adquiriendo nuevos sistemas en sus componentes principales (encaminamiento, transmisión y energía), con el fin de garantizar a los usuarios la disponibilidad y Seguridad en la entrega de información independientemente del momento y del lugar.

El uso de sistemas inalámbricos en interiores presenta uno de los grandes retos en el diseño en sistemas de comunicación. Desde la llegada de la telefonía móvil, el número de usuarios y servicios ha venido creciendo y haciéndose más popular. Los dispositivos inalámbricos los encontramos en el día a día, dentro de los más comunes están: los ordenadores portátiles, ordenadores de sobremesa, asistente personal digital (PDA), teléfonos inteligentes e incluso en los teléfonos que operan con el protocolo VoIP.

La propagación en interiores es un poco diferente de la propagación al aire libre, aunque se caracteriza por los mismos mecanismos de propagación. Sin embargo, la influencia y la variabilidad del medio ambiente es mucho más fuerte en el interior debido a que las distancias de propagación cubiertas son mucho más pequeñas. Además se ve afectada por distribución del edificio (por ejemplo, número de paredes), materiales de construcción, Tipo de edificio, la ubicación de los transmisores-receptores o puntos de acceso, así como la longitud de onda de propagación.

## ANTECEDENTES

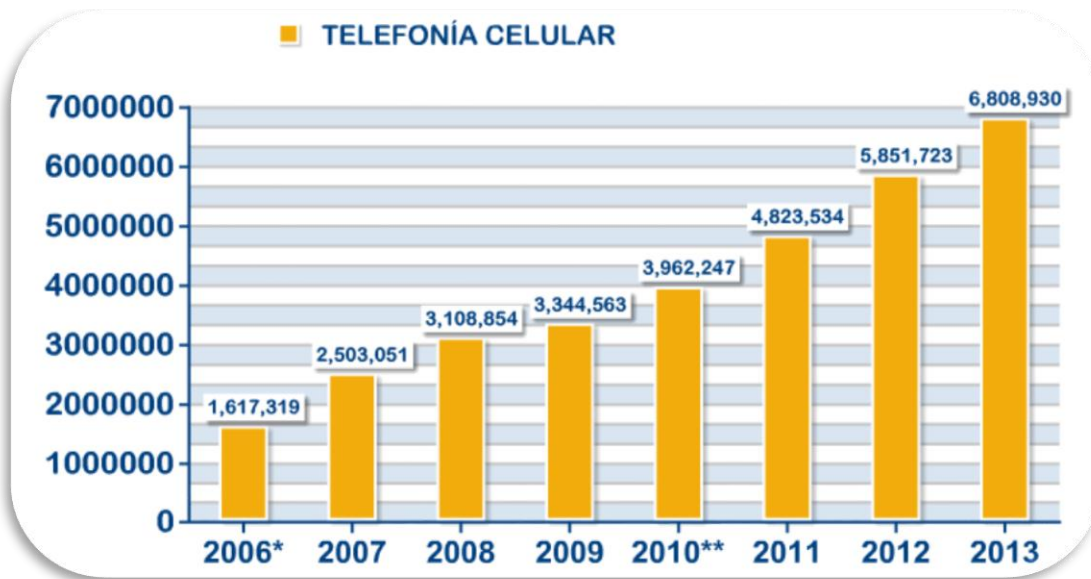


Fig-1 El crecimiento de la telefonía móvil en Nicaragua.

El crecimiento de los usuarios de la telefonía celular en Nicaragua pasó de 4,8 millones en 2011, a unos 6,8 millones hasta el 23 de diciembre de 2013, el 61,9 % más, es decir al menos uno por cada habitante de este país, cuya población es de unos 6,03 millones; La empresa “Claro Móvil” acapara el 60,78 % de los clientes con teléfonos celulares, mientras que Telefónica Movistar tiene el 39,22 % según datos oficiales más recientes publicados por el Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (Telcor), ente regulador. Actualmente estas empresas disponen de infraestructura propia en sus redes, a través de las cuales ofrecen a la población en general los servicios de telefonía móvil para voz y datos asociados a los sistemas GSM y UMTS.

La problemática a tratar en este documento es de disponibilidad, para la cual se eligió la plaza de comidas del centro comercial propuesto ubicado en una



zona céntrica en la ciudad de Managua; Donde según testimonios de usuarios de ambos operadores en muchos de los casos se han encontrado con la dificultad de querer realizar una llamada de voz de un teléfono móvil o utilizar un servicio de datos, obteniendo por su solicitud una baja calidad de servicio (QoS) que va desde una mala comunicación hasta la pérdida de la llamada.



Fig-2 Vista de hotel INTERCONTINENTAL hacia parte trasera de METROCENTRO.

Las escenarios antes mencionados por lo general los encontramos en días agitados y horas pico, en los cuales se genera una gran cantidad de tráfico por llamadas y conexiones de datos, tráfico que las estaciones base (BS) o nodos B (NB) que cubren este sector la ciudad no son capaces de gestionar o lo hacen con muy mala eficiencia, ya sea por problemas de cobertura o de capacidad; Es aquí donde nace la necesidad de buscarle una solución.

Las soluciones en ambientes indoor amplían el área de cobertura, facilitando la propagación de la señal, por eso es importante comprender que las estaciones base de sitio indoor transmiten a una menor potencia que los sitios outdoor, lo que hace posible llegar a los lugares más inaccesible, dándose la

## **“Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”**

libertad de ubicar las antenas prácticamente donde uno lo desee. También de esta manera se produce un ahorro energético al operador y se reducen los niveles de interferencia y al mismo tiempo que se prestan mejores servicios a sus usuarios.

Indudablemente, tal crecimiento en la telefonía móvil va a tener lugar en los próximos años no solo para Nicaragua sino que también a nivel global, lo que requerirá un importante aumento de la capacidad gestionada a través de las infraestructuras de las operadoras móviles, estos últimos tendrán que hacer frente a un aumento de los costes en un entorno de reducción de márgenes ligado al incremento de competencia.

## **JUSTIFICACION**

El propósito de este proyecto de monografía es llevar a cabo el diseño de un sistema de estación base Indoor, que tiene como objetivo principal fomentar una estrategia centrada en el cliente, enfocada a la comprensión de las necesidades de las operadoras y al rápido desarrollo de soluciones en las tecnologías móviles para crear el máximo valor.

Se eligió el centro comercial Metrocentro, ya que es punto de encuentro de personas de diferentes edades, considerada como una zona interés para los operadores por el número de usuarios que lo frecuentan en diferentes horarios y que hacen uso de los servicios de telefonía móvil, un servicio que a menudo es ineficiente aun en condiciones normales de operación.

El ámbito de los sistemas de comunicaciones móviles, en muchas ocasiones se ve degradado en entornos interiores. Por ello las soluciones de cobertura indoor permiten extender los sistemas de comunicaciones de radio frecuencia a esas áreas donde se dificulta la comunicación, de manera que los usuarios puedan utilizar sus teléfonos celulares o dispositivos inalámbricos en las zonas que normalmente no existe cobertura o que simplemente la cobertura es baja. La calidad de servicio (QoS) ha sido siempre uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar las redes de telefonía móvil, así como los servicios que se prestan en ellas. Importante ya que los clientes exigen mayor calidad.

En el estudio se tomaran en cuenta muchos de los aspectos técnicos para su desarrollo y así poder llegar a la elección de un sistema de óptimo desempeño, de manera que se pueda brindar un servicio de calidad. La futura implementación de este diseño quedaría en manos del operador que desee apostar por el liderazgo tecnológico, que en detrimento de una estrategia de costes los ubicaría en una posición con diferentes niveles de impacto en función al mercado objetivo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Realizar una propuesta de diseño para mejorar las comunicaciones móviles en plaza de comidas Metrocentro, Nicaragua.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico técnico del área de interés para conocer las características de infraestructura y poder derivar los criterios técnicos para la realización del proyecto.
- Realizar una simulación de propagación para que el diseño satisfaga las necesidades de cobertura en la zona de comidas del Centro comercial.
- Analizar los requerimientos de dimensionamiento necesarios en una red de estaciones indoor para telefonía móvil que garanticen su interoperabilidad.

## **CAPITULO I: TELEFONÍA MÓVIL**

Con el transcurso del tiempo el hombre ha venido innovando la manera de comunicarse, comenzando con señales y gestos, los cuales no eran muy eficientes a largas distancias, esta problemática lo impulso a la búsqueda de nuevos métodos para mover esta barrera, llevando su ingenio a otros niveles con el fin de suplir esa necesidad.

*Se conoce como telecomunicaciones a toda emisión, transmisión, o recepción a distancia de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, datos o informaciones de cualquier naturaleza, por línea física, radio eléctrica, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos de cualquier otra naturaleza. [1]*

*Red de telecomunicaciones o Red: conjunto de canales de transmisión, circuitos y, en su caso, dispositivos o centrales de conmutación que proporcionan conexiones entre dos o más puntos definidos para facilitar la telecomunicación entre ellos, ya sea por línea física o radiocomunicación. [1]*

Hasta hoy hemos sido testigos de muchos avances tecnológicos que vinieron a cambiar la forma de comunicarnos (p.ej. telefonía celular, comunicaciones satelitales, internet, etc.), los cuales han sido explotados con gran auge desde su invención e implementados en todos los ambientes de la vida cotidiana.

A partir del siglo XXI, las comunicaciones móviles han facilitado que dentro de sus redes se puedan soportar distintas aplicaciones; Los teléfonos móviles han adquirido funcionalidades que van mucho más allá de limitarse a soportar solo llamadas de voz, traducir o enviar mensajes de texto, sino que también la administración de datos (diferentes fuentes) y diferentes aplicaciones ,lo que generó una unificación con los distintos dispositivos tales como PDA, cámara de fotos, agenda electrónica, reloj, despertador, calculadora, GPS o reproductor

multimedia, de tal manera que hoy por hoy podemos realizar una multitud de acciones en un dispositivo pequeño y portátil que lleva prácticamente todo el mundo en los países desarrollados y hasta los que están en vías de desarrollo .

A esta generación de teléfono móvil se le conoce como dispositivos móviles inteligentes, entre los que destacan los Smartphone y Tablet, así como también las Notebooks los cuales han facilitado el impulso necesario para mejorar la experiencia de usuario en el uso de Internet y sus aplicaciones. Estos dispositivos se encuentran continuamente en contacto con el usuario final, tienen una alta capacidad de procesamiento y su diseño se va mejorando dependiendo de las necesidades de los clientes, estas características son las que hacen posible esta conectividad a las redes móviles de banda ancha o mejor conocido como Internet móvil en el cual los usuarios tienen acceso a grandes cantidades de información.

La Integración de las redes multiservicio, que facilitan voz, datos y multimedia y sobre todo entretenimiento mediante infraestructuras y procedimientos compartidos genera una gran cantidad de tráfico en las redes, el cual si no se le da un adecuado procesamiento, genera deficiencia en los servicios ofrecidos por la red y por tanto descontentos con los clientes, para llegar a la gestión de este tráfico es de suma importancia tener conocimiento de los diferentes conceptos y principios básicos en lo que concreta a esta materia.

Es la división de la zona de cobertura en regiones pequeñas, llamadas células, de tamaño variable en función de la demanda de tráfico. La reutilización de las frecuencias en células separadas por una distancia suficiente para que la interferencia cocanal sea tolerable.

El tráfico ofrecido en una zona es proporcional a la superficie de la misma .Al ser las células de tamaño más pequeño, también el tráfico será pequeño y podrá atenderse con un volumen de recursos moderado, manteniendo una probabilidad de pérdida adecuada.

Además gracias a la reutilización, se multiplica la capacidad de frecuencias para cursar tráfico, pudiendo efectuarse en todo momento más llamadas que frecuencias disponibles ya que cualquier radiocanal puede cursar varias comunicaciones simultaneas por células distintas. [2]

### **Características de los Sistemas Celulares**

Las características fundamentales que se exigen a los sistemas de telefonía celular, son:

- ✓ Gran capacidad, de varios miles de abonados.
- ✓ Uso eficiente del espectro radio eléctrico.
- ✓ Cobertura Nacional.
- ✓ Adaptación a la intensidad de tráfico.
- ✓ Amplia gama de servicios suplementarios al de telefonía básica.
- ✓ Calidad de exploración (fidelidad, disponibilidad)

Los sistemas celulares permiten la consecución de esos objetivos gracias a su flexibilidad y a los pequeños radios de cobertura, además combinados con las prestaciones que proporciona hoy día la red telefónica inteligente, brinda numerosos servicios suplementarios muy atractivos para el cliente e interesantes para el operador, porque implica que el usuario haga más llamadas.

Quizá, de entre todas las características, la más importante sea la calidad del servicio que se proporciona, tanto a nivel objetivo, como en forma subjetiva tal como perciben los usuarios.

Dado que la telefonía celular se explota en régimen de competencia entre operadores no cabe duda que la calidad constituye un importante factor de mercado para la captación y el mantenimiento de los abonados. [2]

**Podemos considerar cuatro facetas de la calidad global:**

- ✓ Cobertura
- ✓ Capacidad
- ✓ Fidelidad
- ✓ Movilidad

Las cuales están interrelacionadas. Por ejemplo, la cobertura urbana lleva aparejada, en general, una alta densidad de tráfico que influye en la capacidad y, asimismo, la naturaleza del canal radio en el medio urbano inciden en la fidelidad. La calidad de cobertura suele expresarse mediante los porcentajes superficiales y poblacional de prestación del servicio. Se consigue mediante el despliegue de células de tamaños y configuraciones (omnidireccionales y sectorizada) acorde con el tipo de entorno y naturaleza del tráfico.

Los escenarios básicos de cobertura son las poblaciones y los ejes viarios y ocasionalmente otras áreas especiales como parques empresariales y tecnológicos, zonas costeras, áreas deportivas exteriores.

Pueden distinguirse dos clases fundamentales de entornos de cobertura:

- ✓ Rural
- ✓ Urbano

Los entornos rurales se caracterizan por una densidad de tráfico pequeña y una velocidad de desplazamiento de los usuarios grande, ya que en estos entornos suelen ir a bordo de vehículos.

Los entornos urbanos presentan topologías muy variadas, como son calles de tránsito de vehículos, calles peatonales, pasos y túneles subterráneos, que requieren tratamientos especiales, la velocidad de desplazamiento de los terminales es, en general, pequeña llegando a ser nula (usuario inmóvil). Por otro



lado, la demanda de servicios se dirige también hacia la cobertura de interiores de edificios, tanto públicos como particulares, lo cual plantea nuevos retos de cobertura. [2]

## **Sistemas Indoor**

Los sistema Indoor (Pico-cell / FemtoCell) corresponde a un escenario de interiores donde la antena Nodo B es ubicado dentro de un edificio, esto es debido a que la mayoría de los usuarios se encuentran en el interior la mayor parte del tiempo, por lo tanto, las pico-células se crean generalmente para servir a esas zonas de alto tráfico por ejemplo, dentro de la oficina edificios, centros comerciales, aeropuertos, etc.

Es importante mencionar que las señales de radio que provienen sistemas de macrocelulas y micro-células penetran en los edificios propagándose en su interior, que además de proporcionar cobertura sin capacidad actúan como interferencia. [3]

El denominado RF Indoor tiene el siguiente principio: se tiene un nodo B pero en lugar de irradiar su potencia a través de una gran antena se divide ésta y se irradia a través de pequeñas antenas a baja potencia con lo cual se puede controlar el área que se desea cubrir. En esta solución se tiene una BBU (Base Band Unit), la cual es la unidad de Banda Base que convertirá la señal entrante de las antenas a banda base, además de esto esta unidad tendrá funciones de control y señalización, ésta BBU es la misma unidad de banda base que se utiliza en el despliegue de macro celdas. La potencia suministrada por esta BBU es distribuida.

La potencia de la BBU se lleva a través de fibra óptica ó cable coaxial dependiendo el diseño y es dividida a través de splitters que dividirán la potencia y la distribuirán a las antenas que están por todo el edificio. Es preciso decir que

antes de hacer esta división se debe pasar por un RRU (Remote Radio Unit) que ajusta la frecuencia que envía la BBU de banda base a la frecuencia en la que trabaja el operador.

Una RRU puede soportar 18 antenas, por lo tanto, si el diseño de un edificio es muy grande se necesitará más de una RRU. Cada RRU define un sector de cobertura, esto quiere decir que mientras se esté bajo cobertura de las 18 antenas de una RRU, el móvil en movimiento y cursando una llamada no se enterará que hay múltiples antenas, pero si se pasa a la cobertura de otra RRU se tendrá un handover puesto que se cambió de sector. En caso se utilice fibra óptica en el diseño se deberá adicionar un rectificador allado de la BBU para evitar el deterioro de la señal óptica.

## **Modelos de Propagación**

Durante los últimos años se ha dedicado un gran esfuerzo para desarrollar modelos de propagación de la señal más precisos que permitan facilitar el diseño y la planificación en sistemas de interiores para comunicaciones inalámbricas, Los dos modelos de propagación utilizados en interiores son los siguientes:

*Modelo empírico - estadístico:* se basan en muy simple fórmulas, donde los parámetros son ajustados por la práctica realización de múltiples medidas y análisis estadístico. La principal ventaja de estos sistemas es que requieren poca complejidad de cálculo y su implementación es rápida y fácil.

*Modelo determinista:* Estos modelos tratan de caracterizar la propagación de la señal desde el punto de electromagnético, generalmente por medio de enfoques de alta frecuencia tales como la óptica geométrica (GO ) y la teoría general de la difracción ( GTD , UTD ) . Estas técnicas son implementadas por medio de algoritmos como el trazado de rayos y el lanzamiento rayos. [4]

## **Planificación Celular**

De todo lo que antecede, es inmediato llegar a la conclusión de que el hacer un diseño de un sistema celular es una actividad compleja, en la que han de tenerse en cuenta numerosos factores interdependientes, entre los que pueden destacarse los siguientes:

- ✓ Cobertura radioeléctrica.
- ✓ Limitación de las frecuencias.
- ✓ Movilidad de los usuarios.
- ✓ Distribución del tráfico.
- ✓ Introducción de nuevos servicios.

A ello se le suma el factor económico ya que hay que adquirir o alquilar las ubicaciones de las estaciones base, disponer de su infraestructura: casetas de equipos, energía eléctrica, torres de antenas, accesos, enlaces de comunicaciones, etc. Es cierto que la calidad del servicio mejora cuando mayor es el número de células, pero también entonces crecen los costos.

En consecuencia los proyectistas de redes deberán tratar de optimizar la relación calidad/coste, ponderando debidamente el factor de calidad que, a largo plazo, se les puede dar una buena cuota de mercado, si sus clientes se encuentran satisfechos con la calidad del servicio.

La planificación de una red celular parte de hipótesis sencillas y hace uso de un modelo geométrico simple, por lo que es un instrumento puramente teórico que proporciona información preliminar acerca del sistema celular en proyecto, permite sistematizar el diseño de la red y tener una idea general de las prestaciones previsibles en cuanto a cobertura y capacidad, así como comparar diferentes soluciones alternativas. El resultado de la planificación sirve de patrón o guía para el despliegue físico de la red sobre el terreno. [2]

## **Los Retos de la Telefonía Móvil Actual**

La telefonía móvil está en continuo crecimiento, los usuarios de móviles son cada vez más numerosos y demandan día a día servicios más avanzados.

Actualmente los usuarios, ya sean particulares o empresas, quieren tener movilidad y llevar consigo dispositivos que les den acceso a servicios que requieren de una comunicación de datos: e-mail, música, tv, chat, Internet o conexión con distintas redes y equipos para el envío de información. [5]

## **Ingeniería de Tráfico (Telecomunicaciones)**

En telefonía o en general en telecomunicaciones se denomina ingeniería o gestión de tráfico a diferentes funciones necesarias para planificar, diseñar, proyectar, dimensionar,

Desarrollar y supervisar redes de telecomunicaciones en condiciones óptimas de acuerdo a la demanda de servicios, márgenes de beneficios de la explotación, calidad de la prestación y entorno regulatorio y comercial. [6]

## **Demanda de Servicios**

Como cualquier otro servicio público, un sistema de telecomunicaciones tiene que atender una demanda de servicio fluctuante que solo se puede predecir con un grado limitado de exactitud mediante técnicas de análisis de mercado, medición y proyección adecuados.

La demanda de servicio se entiende en diferentes aspectos: número de clientes de la red, uso de la red por dichos clientes para los distintos servicios de la red, origen y destino de las conexiones, tiempos de conexión y la evolución de los distintos aspectos en el tiempo (variaciones horarias y estacionales, previsiones de crecimiento a corto, medio y largo plazo, etc.).

También se consideran las necesidades de interconexión entre diferentes operadores locales, nacionales e internacionales. [6]

### **Naturaleza del Servicio**

La naturaleza del servicio requiere un alto estándar de rendimiento, desde el punto de vista del usuario la gran mayoría de las demandas deben ser satisfechas con poco o ningún retraso y la calidad funcional de los servicios está regulada y estandarizada internacionalmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y en las últimas décadas por otros organismos y foros de normalización que dan respuesta a la rápida introducción de tecnologías que se produce en este campo.

En la mayor parte de los países existen organismos reguladores estatales tanto del mercado nacional como de las condiciones de prestación, derechos y deberes de prestatarios concesionarios y usuarios de servicios de telecomunicaciones en el caso de Nicaragua el ente regulador de las telecomunicaciones es TELCOR.

Por otro lado, las redes de acceso, los equipos, sistemas en las centrales y los enlaces de interconexión entre centrales, que conforman redes de servicio y transporte, son caros de instalar, operar y mantener y deben ser eficientemente utilizados. Un sobre-dimensionamiento de la red reducirá las ganancias o provocará pérdidas a la operadora sin mejorar sensiblemente la calidad del servicio. Por el contrario, el sub-dimensionamiento repercute en un servicio pobre y en ocasiones en penalizaciones del regulador o del propio mercado.

Al mismo tiempo, la optimización y adecuación de la estructura o topología de la red y de las tecnologías aplicables, facilitan el crecimiento a futuro y la adaptación a los nuevos servicios. [6]

## **Dimensionado de Equipos**

Uno de los aspectos más interesantes en diseño de redes es el dimensionado de equipos y elementos de interconexión. Cualquier intento o telecomunicación en progreso va a requerir recursos de red desde la fase de establecimiento hasta la finalización. Estos recursos, para una llamada particular, pueden variar en tipo o cantidad dependiendo del servicio demandado, la fase del proceso de comunicación y la propia red o redes que se atraviesen.

Un ejemplo simple es el dimensionado de una ruta de enlaces entre centrales de conmutación de circuitos. Los clientes servidos por dos centrales dadas se comunican entre sí a través de esta ruta, la cual posee a su vez un número de enlaces o circuitos individuales por los que se puede tener una única comunicación simultánea.

El objetivo del dimensionado de esta ruta es determinar el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda de llamadas en condiciones de calidad para los usuarios y costos para el operador óptimas para ambos. [6]

## **CAPITULO II: TECNOLOGÍA 3G**

Para inicios del año 2000 el Internet crecía de tal manera que se empezó a volver una necesidad el poder conectarse a la red en cualquier momento y lugar desde terminales móviles. Con esto no bastaba el enviar solamente voz a través de un teléfono celular sino también enviar datos. [18]

Fue técnica y comercialmente necesario ir a un siguiente nivel en la telefonía móvil. Se intentó lograr esto en base a GSM con variaciones como GPRS o EDGE, en las cuales se permitía el acceso a Internet pero con anchos de banda muy limitados que llegaron, en teoría, a picos de aproximadamente 500 Kbps pero que en la realidad llegaban 250Kbps en promedio. Esto no permitía tener banda ancha en un teléfono móvil [KOR2003]. Por esto es que se tuvo migrar

de tecnología para alcanzar velocidades de transmisión aceptables para el momento y esto se logró con la aparición de UMTS. [18]

La tecnología modifica la forma de acceso múltiple ya que cambia de TDMA, utilizado por GSM, por WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), la cual se eligió puesto que el utilizar códigos para el acceso múltiple permite mayor cantidad de accesos simultáneos que usando divisiones de tiempo en un pedazo de espectro que solo permitía 8 accesos por portadora. En UMTS cada portadora WCDMA tiene un ancho de banda de 5 MHz. lo cual fue elegido puesto que esto permitía alcanzar velocidades de transmisión desde los 384 Kbps hasta los 2 Mbps dependiendo de las condiciones climáticas. [KOR2003] Esta fue la meta inicial de UMTS por lo tanto la primera versión de UMTS (Reléase 99) tuvo esta velocidad en su estándar. [18]

### Arquitectura de Red 3G

..

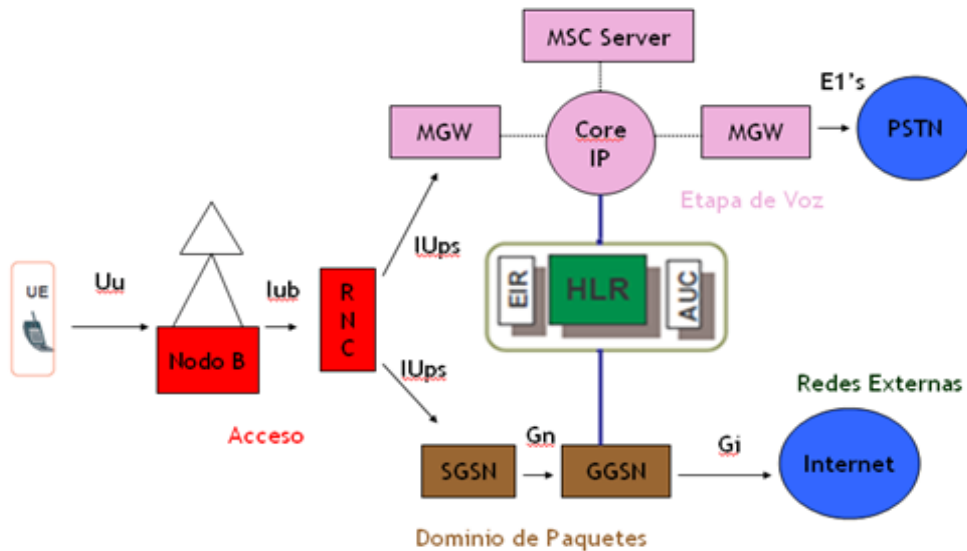


Fig. 2 Red UMTS

Desde la aparición de UMTS las velocidades de transmisión han sufrido cambios dramáticos y vertiginosos. Estos cambios se han debido no por un cambio significativo de arquitectura de red sino por mejoras en la interface de aire entre el móvil y el nodoB.

La tecnología HSPA+ cambia la modulación usada en el Down link a 64QAM lo cual aumenta las tasas de transmisión considerablemente pero necesita una SNR considerablemente alta para una correcta demodulación. También se introduce la transmisión y recepción discontinua en donde si el nodo B no envía información significativa del sistema el receptor del móvil apaga su receptor y así también el transmisor se apaga cuando no se tenga que enviar información. Esto ayuda a ahorrar energía en la batería del móvil y reduce la interferencia en ambos canales aumentando la capacidad del medio. Con estas mejoras la velocidad de transmisión puede alcanzar picos de 28 Mbps

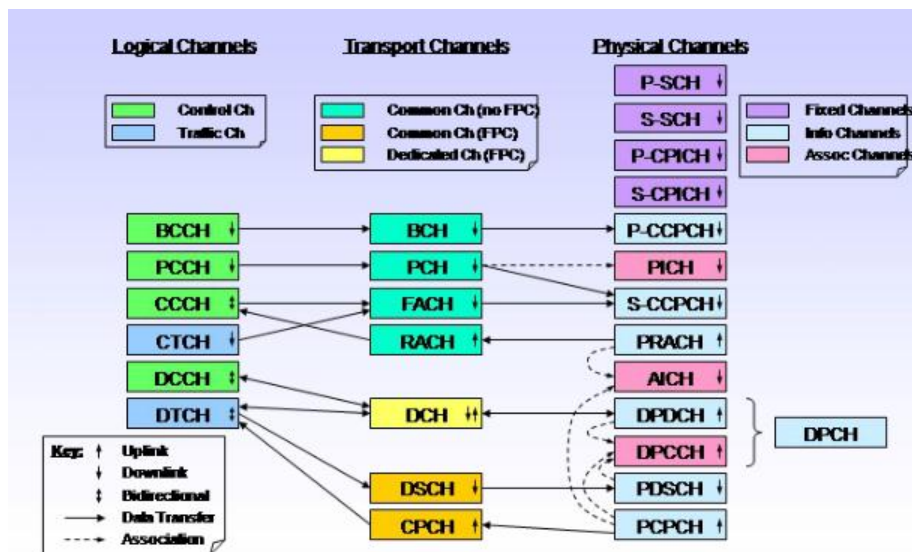


Fig. 3. Canalización UMTS

## Servicios de la Tecnología 3G

En UMTS existen múltiples servicios, en los cuales se ha definido algo muy importante que es la arquitectura de servicio de portadora. La arquitectura de



servicio de portadora ha sido definida para la transmisión de señales, en donde se podrá negociar características de portadora para concebir esa transferencia de información.

La diferencia fundamental entre GSM y UMTS reside en el soporte de alta velocidad de bit, denominada servicio de portadora.

El parámetro de portadora ha tomado en cuenta el servicio/aplicación de este mismo, dado por una solicitud de la calidad de servicio (QoS).

El servicio de portadora es un tipo de servicio de telecomunicaciones que provee la capacidad de transmisión de señales entre el punto de acceso.

Los servicios de portadora proveen la capacidad para transferencia de información entre puntos de acceso, e involucran sólo funciones de la capa más baja. Estas funciones son algunas veces referidas como capacidades de la capa más baja (en referencias a la capa OSI). El enlace de comunicación puede esparcirse sobre diferentes redes, tal como Internet, Intranet, LANs y ATM, teniendo específico significado de la red para control de portadora.

*Los servicios de portadora de radio son:*

Datos de conmutación de circuitos: Servicios de datos de conmutación de circuitos y servicios de datos en “tiempo real” serán proveídos para trabajar con PSTN/ISDN. Estos servicios de datos operarán con la mínima pérdida de datos en handover entre la red de acceso de GSM y UTRAN.

Datos de conmutación de paquetes: Los servicios de datos de conmutación de paquetes serán proveídos para trabajar con redes de paquetes, tal como redes IP y LANs. El estándar proveerá mecanismos, los cuales asegurarán la continuidad de paquetes basados sobre handover (entre GSM y UMTS).

La negociación de atributos de servicios de portadora (tipo de portadora, velocidad de bit, retrasos, simetría up/Down link), modos de comunicación en

tiempo real/no real, apropiado servicio de portadora, se caracterizan porque debe ser flexible.

Cada servicio de portadora debe ser mapeado a uno o más canales lógicos de interfaz de radio para el propósito de transmisión sobre la interfaz de radio.

Los servicios de portadora son identificados por una característica puesta entre terminales, con requerimiento en QoS.

Los requerimientos en servicio de portadora pueden subrayarse en dos grupos principales:

- Requerimientos en transferencia de información, el cual se caracteriza por la transferencia de las capacidades en la red para transferir datos entre usuarios.
- Características de calidad de información, la cual describe la calidad de la información de usuario.

Será posible negociar/renegociar las características de servicios de una portadora en un establecimiento de sesión/conexión y durante dicha sesión/conexión.

## **Calidad de Servicio**

La calidad de servicio (QoS) se define como el efecto colectivo de desempeño de servicios, los cuales determinan el grado de satisfacción de un usuario con respecto a un servicio. Se caracteriza por la combinación de aspectos de factores de desempeño aplicable a todos los servicios.

Los requerimientos de la calidad de servicio serán proveídos al usuario final y describen a ellos como requerimientos entre entidades comunicándose. La

calidad de servicio está relacionada principalmente con los retrasos, en donde la contribución de retrasos dentro de la red móvil debe ser llevada al mínimo.

### **Administración de Servicios**

La administración de servicios aplica principalmente al control de servicios soportados por UMTS.

Una de las metas para UMTS es la provisión de cobertura global y la habilidad para roaming entre redes.

Se necesitarán negociar las aplicaciones de usuario para establecer rutas de comunicación, teniendo los requerimientos de ancho de banda, retraso y calidad de servicio.

La necesidad de proveer servicios no estandarizados, los cuales puedan ser operados independientemente en un ambiente multi-operador, lo cual pone radicalmente requerimientos en la interfaz de radio en donde elementos como modulador, canal de código, no tendrán parámetros fijo como en sistemas 2G, en donde parámetros claves como ancho de banda, calidad de transmisión y retrasos pueden ser seleccionados, negociados y mezclados por requerimientos en servicios requeridos de acuerdo a las capacidades del canal de radio.

Algunos requerimientos para la administración de servicios han sido identificados, tal como:

- Minimizar el costo de administración de la red UMTS
- Minimizar costos de operación de UMTS
- Soportar introducción y eliminación de nuevos servicios

## **“Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”**

- Controlar acceso a servicios UMTS (Ejemplo: tipo de móvil o localización)
- Permitir administración de servicios sobre infraestructura compartida
- Permitir interoperabilidad entre operadores/proveedores de servicio para la administración de servicios con el fin de ofrecer servicios en el mejor costo efectivo.

Un UE puede simultáneamente activar múltiples servicios. El UE soportará múltiples direcciones IP cuando simultáneos conceptos del protocolo de paquetes de datos son activados de manera que requieran separadas direcciones IP para diferentes dominios de direcciones.

### **Servicio de Datos**

En UMTS, la oportunidad será mejorar los servicios de datos ofrecidos por GSM. Los datos sobre GSM fueron diseñados para trabajar de la misma forma como los datos sobre ISDN, aunque en una baja velocidad. Ésta ha sido una buena base para que los operadores ofrezcan estos servicios, en donde en el principio las redes manejan todos los servicios de datos tranquilamente. Aunque en la práctica, éste no siempre es el caso.

Varios escenarios para la introducción de UMTS han sido considerados, y el resultado ha sido un ambiente de multi-tecnología con algunas regiones soportando UMTS y otras regiones soportando GSM. Servicios tal como SMS correrán más rápido y por lo tanto atraerán más tráfico y fomentarán nuevas aplicaciones para el uso más rápido de la plataforma de datos ofrecida por UMTS.

Los datos pueden ser proveídos sobre conmutación de circuitos o conmutación de paquetes. Los servicios de conmutación de circuitos entre terminales necesitan ser soportados entre el móvil e ISDN en la red alamburada.

Uno de los principales servicios de datos, es la conexión a Internet, en donde se va a transferir mucha información.

### **CAPITULO III: MODELOS DE PROPAGACIÓN INDOOR**

En dependencia del tipo de entorno físico donde se requiere radiar, se deberá determinar el modelo de propagación idóneo que considere las características del medio donde se propagará el espectro electromagnético.

Las características de propagación para sistemas de comunicación dentro de construcciones son muy peculiares y por lo tanto de gran interés en el mundo de la investigación de propagación de RF, pero en la actualidad la tendencia de investigación está enfocada hacia la telefonía móvil celular.

Los resultados obtenidos para edificios aparentemente parecidos varían enormemente por factores de material, los cuales pueden ser tan triviales como la cantidad de vidrio en sus paredes exteriores, los diferentes niveles en los cuales están divididos los pisos, así como la altura de cada piso en particular, en conjunto con el material utilizado para la fabricación de las paredes.

Para lograr un mejor entendimiento de las pérdidas que puede haber por penetración o por la obstrucción de las construcciones se estudió la perspectiva del canal móvil satelital para llegar a tener un mejor entendimiento de éste.

Para la propagación en interiores nuevos desafíos surgen y los modelos de propagación mejoran junto con los instrumentos de simulación que se requieren para lograr predicciones seguras, exactas y computacionalmente eficientes y junto con esto se intentan vencer muchas de las pérdidas en la propagación de RF en interiores. Los desafíos frente al desarrollo de instrumentos de simulación para propagación de RF para interiores podrían llegar a ser:

Las predicciones para Propagación dependen principalmente de parámetros de la construcción del edificio que a menudo no están disponibles,

algunos de estos parámetros son el espesor de pared, los materiales, y las estructuras interiores del edificio.

El uso Exclusivo de modelos de propagación para el trazado de la señal puede ser inadecuado. La señal que se simula a menudo encuentra muchos obstáculos provocando la existencia de reflexión y multitrayectoria y la falta del conocimiento de los coeficientes de difracción para muchas estructuras interiores, esto podría consumir demasiado tiempo provocando que sea computacionalmente ineficiente.

Para estudiar la propagación de una ambiente interior, se pueden considerar configuraciones de los lugares donde se realiza la comunicación y configuraciones de las zonas de cobertura donde se proporcionan los servicios de la red y de esta forma poder caracterizar físicamente el ambiente que puede variar con respecto a la utilización del mismo (oficina, casa, museo, etc.).

La condición de no tener línea de vista provoca mayores problemas que la de tenerla, así como la determinación de la capacidad de los canales y la calidad de los enlaces. En el caso de una ambiente interior, ambas condiciones existen, independientemente de que las señales recorran distancias muy cortas, esto es debido a la gran cantidad de obstáculos presentes en el ambiente, como ya se había mencionado.

En los últimos años se han desarrollado diferentes modelos de predicción de propagación para ambientes interiores, en frecuencias que van de los 500Mhz a los 5Ghz. Cada uno de estos modelos tiene sus ventajas y sus desventajas que serán explicadas en este capítulo.

Últimamente varias compañías de telefonía móvil han comenzado con la investigación en este campo de propagación en interiores, el segundo grupo interesado en esto son las compañías de redes inalámbricas de computadoras (WLAN) enfocadas a redes para interiores.

Debido a la enorme demanda en planeación de redes en interiores, diferentes compañías han buscado el desarrollo de sus propios modelos y descripciones para este tipo de ambientes.

Los modelos de propagación para interiores se pueden subdividir en los cinco grupos que a continuación se detallan.

Los modelos electromagnéticos se pueden derivar solucionando directamente las ecuaciones de Maxwell para la propagación de la onda electromagnética. El método del Tiempo-Dominio de la diferencia finita (FDTD) es probablemente el método más popular para una solución numérica de las ecuaciones de Maxwell. En este método, las ecuaciones de Maxwell son aproximadas por un sistema de ecuaciones de la diferencia finita. Los modelos de FDTD exigen procesos de cálculos de cómputo complicados y tardados para procesar. Los modelos electromagnéticos son extremadamente complejos y difíciles de calcular puesto que cada característica física de la propagación debe ser considerada.

Modelos estadísticos este tipo de modelos no necesitan información acerca de las paredes en las construcciones. Lo único que se requiere para los cálculos en estos modelos es una descripción del tipo de construcción, por lo cual con saber si se propagan las señales en una oficina, un hotel, un hospital, un edificio viejo, una casa, estos modelos pueden dar resultados.

Modelos empíricos de trayectoria directa este tipo de modelos está basando en la trayectoria directa existente entre el transmisor y el receptor, rayos futuros no son considerados en este tipo de modelos. Estos modelos son en gran parte la base para el diseño y caracterización de los últimos modelos desarrollados.

Modelos empíricos de multi-trayectoria Este tipo de modelos principalmente se sostiene en cálculos necesariamente realizados por computadoras, por lo que diferentes tipos de trayectorias son calculadas y almacenadas en las

computadoras, con estos datos se obtiene una predicción de las pérdidas en interiores.

Las frecuencias de UHF, las cuales pueden ser descritas con modelos de propagación quasi-ópticos que consideran la reflexión con las paredes y la difracción con las esquinas. Este tipo de modelos principalmente está basado en algoritmos creados para aplicaciones particulares.

Cada uno de estos grupos contiene diferentes implementaciones de la idea básica de pérdidas por trayectoria en forma general, pero los modelos que pertenecen al mismo grupo presentan resultados parecidos entre sí, y con esto tienen las mismas ventajas y desventajas.

### **Modelo de Particiones en el Mismo Piso**

Para este modelo se requiere tener datos específicos del tipo de construcción de la que se requiera saber las pérdidas. Por lo que este modelo es muy poco general y se aplica a construcciones en específico, pues como se mencionó se requiere tener el conocimiento de las mediciones de las pérdidas hechas a estas construcciones. Este modelo sólo suma las pérdidas de las mediciones tomadas, y a través de esto logra dar el cálculo de las pérdidas en la construcción.

### **Modelo de Ericsson de Múltiple Punto de Ruptura**

Este modelo también es dependiente de mediciones experimentales hechas en edificios de oficinas con múltiples pisos. Tiene cuatro puntos de ruptura y junto con esto considera un límite superior e inferior para las pérdidas por trayectoria.

Este modelo asume el hecho de una atenuación de 30dB a una distancia  $d_0 = 1\text{m}$ , la cual fue aproximada para una frecuencia de 900Mhz con una ganancia unitaria para las antenas, al depender de este dato este modelo se ve limitado para uso en alguna aplicación con una banda de frecuencias diferente.



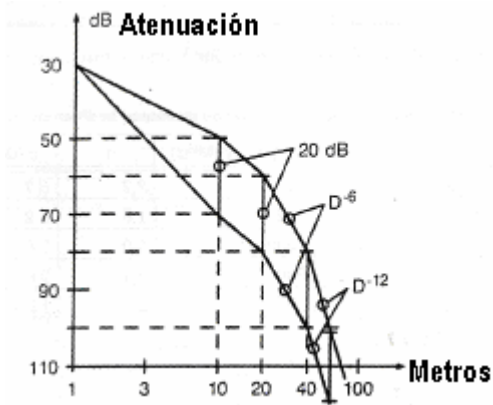


Fig. 5. Modelo de pérdidas por trayectorias de Ericsson.

Este modelo incluye componentes por shadowing y es dependiente de la distancia como se puede ver en la Figura 5, el modelo de Ericsson da un límite determinístico en las pérdidas por trayectoria en cierto rango de distancias.

Ericsson diseñó una distribución uniforme para generar los valores de las pérdidas por trayectoria dentro de los rangos máximos y mínimo como una función de la distancia, como ya se mencionó, para una simulación en interiores.

### Modelo de Pérdidas por Particiones entre Pisos

Al igual que el modelo de pérdidas por particiones en el mismo piso, este modelo se basa en bases de datos recopiladas de mediciones experimentales tomadas en diferentes edificios.

Las pérdidas entre pisos están determinadas por las dimensiones y materiales de construcción externos del edificio. Es importante tomar en cuenta todos los materiales de construcción del edificio para este modelo, ya que esto impacta a las pérdidas entre pisos. Se pueden ver en la Tabla 1 los valores para el factor de atenuación entre pisos (FAF), estos datos experimentales fueron tomados de tres edificios en San Francisco. Por lo que sólo son datos representativos de los datos que pueden llegar a obtenerse para diferentes edificios puede notarse en la Tabla 1 que el valor de FAF va aumentando y

adicionándose a las pérdidas del primer piso conforme el número de pisos aumenta.

<b>Edificio</b>	<b>1900Mhz FAF(dB)</b>	<b>s(dB)</b>	<b>Número de Lugares</b>
<b>Primer Edificio</b>			
<b>Un Piso</b>	31	4.6	110
<b>Dos Pisos</b>	38	4.0	29
<b>Segundo</b>			
<b>Un Piso</b>	26	10.5	21
<b>Dos Piso</b>	33	9.9	21
<b>Tres Pisos</b>	35	5.9	20
<b>Cuatro Pisos</b>	38	3.4	20
<b>Cinco Pisos</b>	46	3.9	17
<b>Tercer Edificio</b>			
<b>Un piso</b>	35	6.4	74
<b>Dos pisos</b>	35	5.9	41
<b>Tres pisos</b>	35	3.9	27

Tabla 1. Parámetros de Pérdidas por FAF y Desviación Estándar.

### **Modelo de Factor de Atenuación**

Este modelo como su nombre lo indica, está basado en la atenuación existente entre pisos, por lo que en cierta forma comparte características con los anteriores, pero en este caso existe una ecuación matemática que calcula las pérdidas por trayectoria.

Este modelo da flexibilidad y muestra la reducción de la desviación estándar que se produce entre las pérdidas por trayectoria calculadas teóricamente y las pérdidas por trayectoria medidas. El modelo de factor por atenuación está dado por la ecuación 1.

#### **Ecuación (1):**

$$PL(d) [dB] = PL(d_0) + 10nSF \log \frac{d}{d_0} + FAF[dB].$$

Donde:

$PL(d_0)$  [dB] son pérdidas por trayectoria tomadas a una distancia de  $d_0 = 1m$

$d$  es la distancia a la que se encuentra el transmisor del receptor en metros.

$d_0$  es el valor de la distancia en donde se encuentra el transmisor en metros.

$nSF$  representa el valor de la medición para el mismo piso. Para encontrar un buen valor de  $n$  es útil el uso de bases de datos de mediciones experimentales, y en este caso se pueden tomar los datos de las tablas 1 y 4 que nos ayudan a ver ciertos valores para esta variable a partir de mediciones hechas en diversos edificios.

$FAF$  es el factor de atenuación por piso.

Para conocer el valor de  $FAF$  es necesario también tener valores experimentales, por lo que las tablas 1 y 5 son útiles para este caso, aunque  $FAF$  puede ser remplazado por un exponente que aún considera los efectos causados por los múltiples pisos y su separación. La ecuación 1 puede modificarse hasta llegar a ser la ecuación 2.

### **Ecuación (2):**

$$PL(d) [dB] = PL(d_0) + 10 n_{MF} \log \frac{d}{d_0}$$

Donde

$n_{MF}$  es el exponente de las pérdidas por trayectoria basado en las mediciones por múltiples pisos.

	$n$	$\sigma$ (dB)	Número de Locaciones
<b>EDIFICIOS</b>			
<b>LOCACIONES</b>	3.14	16.3	634
<b>MISMO PISO</b>	2.76	12.9	501
<b>PASANDO UN PISO</b>	4.19	5.1	73
<b>PASANDO DOS PISOS</b>	5.04	6.5	30
<b>PASANDO POR TRES PISOS</b>	5.22	6.7	30
<b>TIENDA DE DULCES</b>	1.81	5.2	89
<b>TIENDA DE MENUDEO</b>	2.18	8.7	137
<b>EDIFICIO DE OFICINAS 1</b>			
<b>EDIFICIO COMPLETO</b>	3.54	12.8	320
<b>MISMO PISO</b>	3.27	11.2	238
<b>ALA OESTE DEL QUINTO PISO</b>	2.68	8.1	104
<b>ALA CENTRAL DEL QUINTO PISO</b>	4.01	4.3	118
<b>ALA OESTE DEL CUARTO PISO</b>	3.18	4.4	120
<b>EDIFICIO DE OFICINAS 2</b>			
<b>EDIFICIO COMPLETO</b>	4.33	13.3	100
<b>MISMO PISO</b>	3.25	5.2	37

Tabla 2. Mediciones para el exponente de pérdidas por trayectoria.

La Tabla 2 muestra cómo la desviación estándar de las mediciones comparadas va decreciendo conforme el número de locaciones se vuelve más pequeño y el sitio más específico.

A partir de estas mediciones se encontró que las pérdidas dentro de construcciones pueden ser representadas como la suma de las pérdidas por el espacio libre y las pérdidas por un factor de atenuación por los pisos que incrementa exponencialmente con la distancia como se ve en la Tabla 2.

La ecuación 3 está basada en los trabajos realizados por Devasirvathan, a partir de mediciones en edificios multi pisos, es posible modificar la ecuación 2 por la **Ecuación (3)**:

$$PL(d) [dB] = PL(d_0) [dB] + 20 \log \frac{d}{d_0} + a FAF [dB]$$

A la ecuación 2 se le aumenta el factor  $a$  que es escalado por la distancia, hasta llegar a la ecuación 3. El valor de  $a$  puede ser tomado de la Tabla 3.

Locación	Frecuencia	a – Atenuación
Edificio 1:4	850Mhz	0.
	1.7Ghz	0.
	4.0Ghz	0.
Edificio2:2	850Mhz	0.
	1.7Ghz	0.
	4.0Ghz	0.

Tabla 3. Diferentes valores por factor de atenuación.

### Modelo de Pendiente Dual

Feuerstein y Beyer desarrollaron este modelo. Ellos observaron que las pérdidas por trayectoria se comportan distinto en rangos cortos y en rangos distantes. Para tomar en cuenta este efecto el Modelo Dual Slope o de pendiente dual tiene dos modelos de pérdida s por trayectoria para rangos cortos de distancia y otro para rangos largos de distancia. La ecuación 4, que tome en cuenta la primera distancia, nos muestra la pérdida por trayectoria para un rango corto y para su propia atenuación de potencia. La ecuación 5 muestra la segunda pérdida por trayectoria que es función de la pérdida por trayectoria de rango corto, para hacer la diferencia entre las dos distancias que se clasifican como rango corto y rango largo, se tiene el parámetro de distancia de punto de ruptura entre las dos distancias dBR que se puede ver en la ecuación 5.

#### Ecuación (4):

$$PL_{DS1}(d)=10 n_2 \log \frac{4 d}{L} - a_0$$

#### Ecuación (5):

$$PL_{DS2}(d)=10 n_1 \log \frac{d}{d_{BR}}$$

Donde:

$d_{BR}$  es la distancia en metros del punto de ruptura entre las dos distancias (rango largo y corto) estas son determinadas por el ambiente en específico.

$n_1$  es la potencia en Watts que se pierde antes del punto de ruptura

$n_2$  es la potencia en Watts que se pierde después del punto de ruptura

$a_0$  es la diferencia entre PLDS y las pérdidas en el espacio libre, PLFS a una distancia de 1m ( $d=1m$ ).

La variable  $a_0$  es causada por efectos de la onda guiada y varía entre los 5dB y los 0dB. En la región de pérdidas dada por la variable  $n_1$  se convierte en  $n_2$ . En la región lejana la zona de pérdidas llega a conjuntarse con la  $n_2$  teniendo un valor de 6. Este modelo tiene más sitios específicos con la introducción de variables  $n_1$  y  $n_2$ . El punto de ruptura juega un papel importante en este modelo ya que da la división entre las dos regiones, el punto de ruptura debe saberse con un alto grado de precisión y puede ser hallado con mediciones.

### **Modelo Multi-Pared/ Cost 231**

Este modelo está especialmente diseñado para propagación en interiores. Toma en cuenta las pérdidas por espacio libre y las pérdidas por los pisos penetrados por trayectoria directa que existe entre el transmisor y el receptor.

Este modelo llamado Modelo Multi-pared/COST-231 es un modelo empírico para pérdidas en paredes [European Comisión, 1999; Lott, 2001]. Como se ha mencionado este modelo da una pérdida por el espacio libre en conjunto con la pérdida que se incluye al pasar la señal por diferentes paredes y pisos, al ser penetrados por la señal electromagnética transmitida en la trayectoria directa desde el transmisor hacia el receptor. El modelo COST-231 para pérdidas por trayectoria en interiores está dado por la siguiente ecuación en decibeles.

**Ecuación (6):**

$$PL = PLFS + LC + \sum_i KWI + LF n \left( \frac{n}{n+1} \right)^b$$

Donde:

*PLFS* es la pérdida en decibels en el espacio libre entre el transmisor y el receptor

*LC* es la constante de pérdida en decibels

*KWI* es el número de paredes penetradas de un tipo *i* y *n* es el número de pisos penetrados.

*LWI* son las pérdidas por el tipo de pared *i*

*LF* son las pérdidas por pisos adyacentes.

*B* es un parámetro medido empíricamente.

Por lo regular las mediciones se basan en el tipo de construcción que se esté analizando para este modelo se han hecho más mediciones en oficinas por lo que se toman parámetros promedio y se utilizan en la ecuación para aplicarla al caso específico de oficinas.

Para la **ecuación (6)** se toma en cuenta un ambiente de oficina, con un valor de  $n=4$ . Para cálculos en ambientes moderadamente pesimistas se puede tomar un valor de  $n=3$ , con lo que la ecuación se modifica, si además de esto damos valores usados regularmente como  $LC=37\text{dB}$ ,  $LF=18.3$ ,  $b=0.46$  este modelo puede simplificarse de manera significativa.

## CAPITULO IV: ESTUDIO DE CASO. CENTRO COMERCIAL METROCENTRO

### Cobertura:

Para conocer la cobertura actual de los operadores de telefonía celular en el Centro Comercial Metrocentro se realizó un Walk Test al interior del edificio.

- En el Foodcourt de Metrocentro ambas operadoras cuenta con una mala señal, esa señal es proporcionado por Macro Celdas, los niveles de RSCP andan entre -85dBm a -100dBm Sin embargo, en la puerta hacia el pasillo cuando se dirige hacia el sótano la cobertura es prácticamente nula. Esto se explica por ser la del sótano un área cerrada y la infraestructura no permite la buena penetración de la señal de las compañías de telefonía celular. A continuación se presenta el resultado del Walk Test para Claro en el Food Court de Metrocentro.

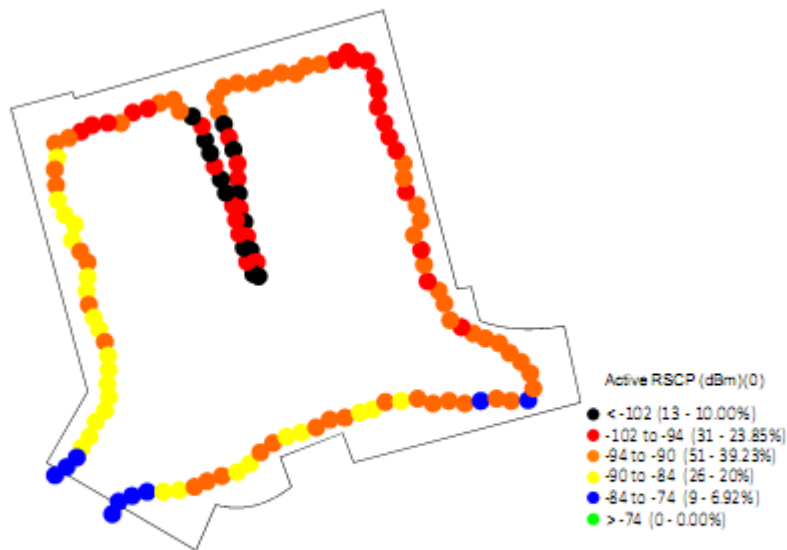


Figura 6. Niveles de RSCP Para Claro Food Court Metrocentro



También se realizó para la empresa Movistar teniendo los siguientes niveles de RSCP.



**Figura 7. Niveles RSCP Para Movistar Food Court Metrocentro**

- En el piso 1 y 2 de Metrocentro los niveles de cobertura son aceptables en la mayor parte de las áreas comunes y accesos principales pero hacia la zona los bancos el nivel de señal vuelve a ser regular en la mayor parte del centro comercial.

A continuación se muestran el resultado de los niveles de RSCP en la planta baja de Claro y Movistar.



**Figura 8. Niveles RSCP para Claro Planta Baja**

Los niveles de RSCP en la Planta Baja para Movistar son los siguientes:



**Figura 9. Niveles RSCP para Movistar Planta Baja**

Para la planta alta el resultado de la medición para Claro es el siguiente:

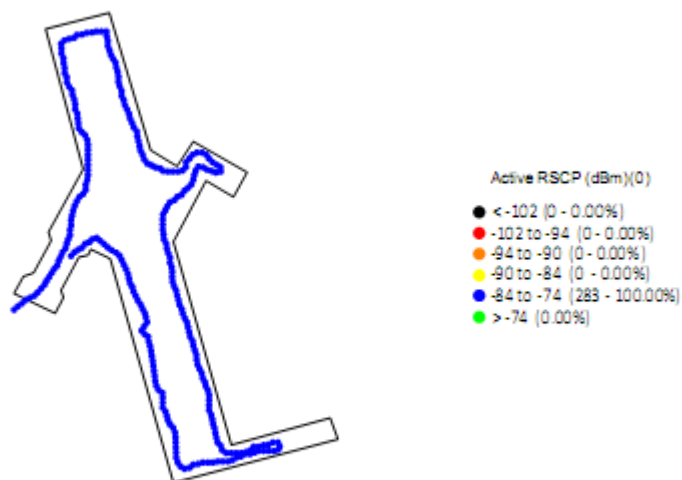


Figura 10. Niveles RSCP Para Claro Planta Alta

En el caso de Movistar los niveles de RSCP son similares, lo único que tiene 14 muestras por debajo de los -74dbm, representando un 4.74%.

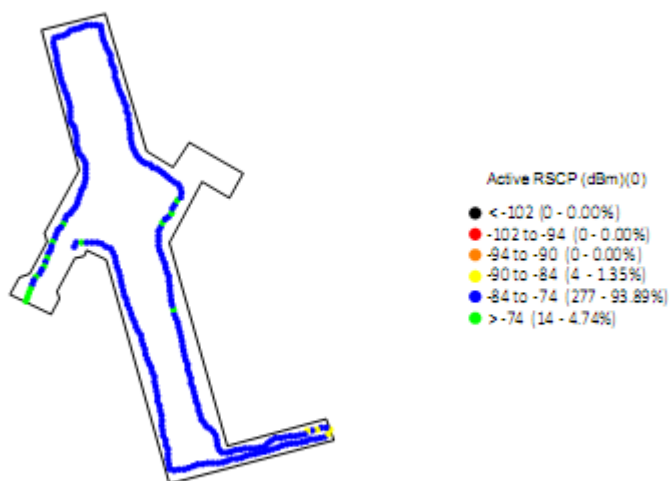


Figura 11. Niveles RSCP Para Movistar Planta Alta

- La cobertura de ambas operadoras en el parqueo externo el nivel de señal mejora significativamente al estar en un área que no hay edificaciones ni obstáculos que incidan en la propagación electromagnética por parte de los Nodos B radian en esa zona.

Se realizaron pruebas en el parqueo exterior teniendo los siguientes resultados para Claro y Movistar respectivamente.



**Figura 12. Niveles de RSCP para Claro Parqueo Externo**

Estos niveles son satisfactorios debido a que no hay infraestructura que no permitan los excelentes niveles de RSCP. Estos niveles son adquiridos por un Nodo B que radia mediante un sistema de antenas Macro Celdas. Para Movistar los niveles son similares, a continuación se muestran los datos obtenidos del Walk Test.



**Figura 13. Niveles de RSCP Para Movistar Parqueo Externo**

### **Capacidad:**

Las pruebas se hicieron a las 11.30am-2.30pm, cuanto muchas personas acuden a almorzar al Foodcourt de Metrocentro, se constató que la capacidad disponible es insuficiente para proporcionar un buen servicio a sus usuarios tanto en voz como en datos. Esto se refleja en numerosos intentos de llamada fallidos y en establecimiento de sesiones de datos fallidas, y cuando se logra establecer la sesión de datos el throughput es notablemente bajo.

### **RSCP**

RSCP es el valor de la energía de RF con que el móvil percibe al nodo B después del proceso de correlación/decodificación, generalmente está dada en dBm. Denota la potencia medida por un receptor en un canal físico de comunicaciones en particular. Debe ser medido para cada código específicamente.

## “Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”

RSCP se utiliza como:

- Indicador de la intensidad de la señal.
- Criterio de entrega en el control de enlace descendente de energía.
- Calculo de pérdidas por trayectoria.
- Criterio para juzgar la calidad de recepción.

A continuación se presentan la Tabla 4 y Tabla 5 definiendo el número total de muestras (130 muestras) y se presentan la distribución porcentual para los Niveles de RSCP en el área de comidas en el centro comercial Metrocentro para ambas operadoras. Este resultado se obtuvo del Walk Test realizado en el Food Court.

FoodCourt	-60<X<-40	-80<X<-60	-100<X<-80	-120<X<-100	X<-120	TOTAL DE MUESTRAS
MOVISTAR	0	7	91	23	9	130
CLARO	0	9	88	20	13	130

**Tabla 4. Niveles RSCP**

Porcentualmente se puede describir en la siguiente tabla para ambas operadoras.

Cobertura de Datos	-60<X<- 40	-80<X<- 60	-100<X<-80	-120<X<-100	X<-120	TOTAL
MOVISTAR	0	5.38%	70%	17.69%	6.92%	100%
CLARO	0	6.92%	67.69%	15.38%	10%	100%

**Tabla 5. Distribución porcentual es los niveles RSCP**

## Throughput

Throughput	$X > 2.4\text{Mb}$	$2.4 < X < 1.2\text{Mb}$	$1.2 < X < 0.6\text{Mb}$	$0.6 < X < 0.3\text{Mb}$	$X < 0.3\text{Mb}$	TOTAL
MOVISTAR	3	2	11	16	18	50
CLARO	4	3	13	15	15	50

**Tabla 6. Throughput en el Food Court Metrocentro**

Porcentualmente se tendría la siguiente distribución

Throughput	$X > 2.4\text{Mb}$	$2.4 < X < 1.2\text{Mb}$	$1.2 < X < 0.6\text{Mb}$	$0.6 < X < 0.3\text{Mb}$	$X < 0.3\text{Mb}$	TOTAL
MOVISTAR	6%	4%	22%	32%	36%	100%
CLARO	8%	6%	26%	30%	30%	100%

**Tabla 7. Throughput distribución porcentual**

Para el desarrollo de las pruebas de medición se utilizaron software de simulación y herramientas facilitadas por nuestro tutor.

Para realizar el análisis se utilizó el equipo SCOUT conectado con un Celular S4 Galaxy para hacer el Walktest, se hicieron las mediciones en 1 día únicamente, ya que el equipo fue prestado solamente por 1 día por la empresa xxx<sup>1</sup>.

Se hicieron pruebas de RSCP (NIVEL DE POTENCIA en la zona de comidas) y el Throughgput para la velocidad de descarga, se bajaron archivos de diferentes Mgb

---

<sup>1</sup> Por acuerdo de confidencialidad no podemos decir en nuestro trabajo el nombre de la empresa que nos facilitó el equipo para realizar el Walk Test.

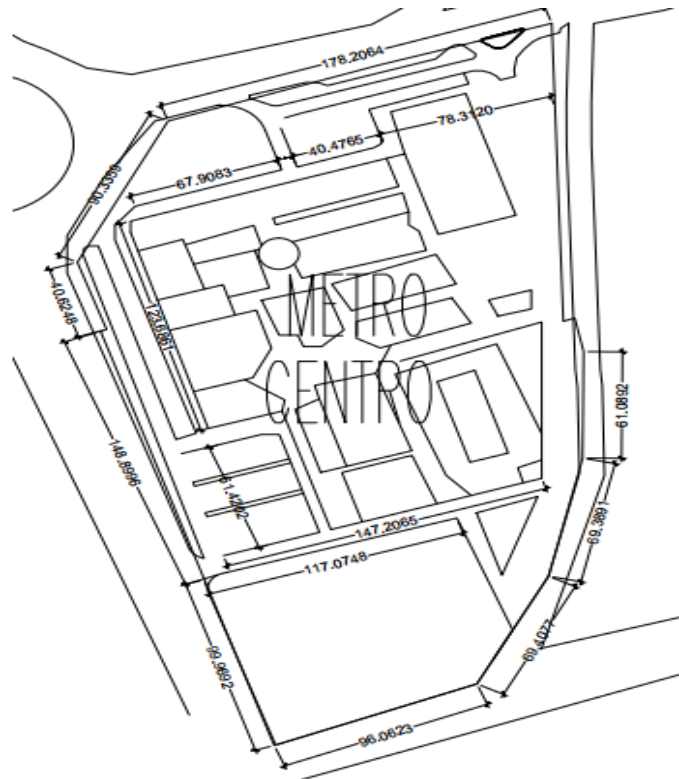
## “Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”

para ver la velocidad de descarga (Ver Tabla 6 y 7); en base a eso hicieron su diseño y su simulación.

### ANALISIS DE ESTUDIO

Se realizaron las medidas del Centro Comercial Metrocentro y se definirá la ubicación donde se propone en el presente diseño la ubicación de los equipos que se requieren para dar cobertura a la zona del FoodCourt.

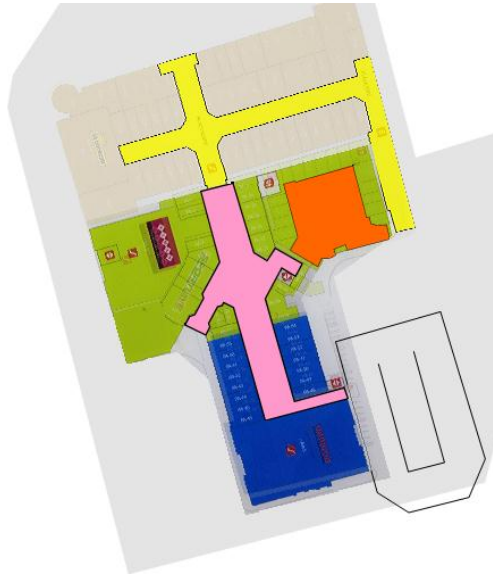
Estas medidas se elaboraron con el Software Auto Cad y posteriormente se guardó en archivo imagen. A continuación se presenta la planta general de Metrocentro.



**Figura 14. Planta General del Centro Comercial Metrocentro**

Se presenta otra vista aérea del Centro Comercial de Metrocentro





**Figura 15. Vista Aérea del Centro Comercial de Metrocentro**

Hay muchas razones para el operador de telefonía móvil, tanto técnico como comercial, para proporcionar suficiente cobertura en interiores. Las motivaciones técnicas son típicas; falta de cobertura, el mejoramiento de la calidad del servicio, la necesidad de más capacidad, necesidad de mayores velocidades de datos y para descargar la red macro existente. En 3G (UMTS), la necesidad de descargar la red macro existente es un parámetro especialmente importante.

La necesidad de velocidades de datos de mayor velocidad dentro de los edificios también juega un factor importante. Es evidente que se necesita soluciones (IB) dedicado en la construcción para proporcionar el servicio de datos de alta velocidad en UMTS y, especialmente, al desplegar servicios de datos de alta velocidad HSDPA / HSUPA.

El principal motor de cualquier operador de red móvil debe ser aumentar el factor de ingresos. El objetivo es maximizar los ingresos de la red y para bajar el costo de producción del tráfico. El costo de producción de un minuto de llamadas (CM) es un factor crucial para el operador de telefonía móvil, y así es el costo de producción por Mb de los datos transmitidos en la red.

Dependiendo de qué zona analizar, es un hecho que la mayor parte del tráfico se origina dentro de los edificios. Por lo tanto, es necesaria una especial atención a la cobertura en interiores, con el fin de cumplir con las expectativas del usuario y la necesidad de servicio. Este es el caso especialmente en los entornos urbanos, y el enfoque de los usuarios móviles está en velocidades de datos más altas y mayores.

Especialmente para UMTS, la carga de potencia por usuario (PLPU) es un factor importante debido al hecho de que la energía de enlace descendente en la estación base está directamente relacionado con la capacidad. Cuanto mayor sea el PLPU, mayor será la capacidad de drenaje de la estación base por usuario móvil será. Esto se traduce en altos costos de producción relativos para el tráfico interior en UMTS cuando se trata de dar servicio a los usuarios dentro de los edificios, de la red Macro al aire libre.

No sólo la cobertura, la calidad y la velocidad de datos sea mejor en UMTS con soluciones de cobertura de interior dedicados, pero el PLPU será mucho menor debido al hecho de que con un sistema de cubierta de la estación de base no tener que superar la pérdida alta penetración del edificio (20-50 dB). Además, cuando el servicio de los usuarios UMTS interiores de la estación base macro, la señal se basará principalmente en las reflexiones con el fin de dar servicio a los usuarios, degradando la ortogonalidad.

La aplicación de soluciones de cobertura de interior es un uso muy eficiente de la capacidad (potencia de DL) de la estación base, y del canal de datos. Usted puede reducir el costo de producción por minuto de llamada o Mb, utilizando soluciones de cobertura IB y también reducir el aumento general de ruido en la red. El costo de producción por minuto de llamada o Mb en UMTS se puede cortar en un 50-70% el uso de soluciones de cobertura del IB.

Hay muchos enfoques diferentes a cómo se puede diseñar un sistema de cobertura en interiores con un nivel de cobertura uniformemente distribuida;

distribución pasiva, distribución activa, las soluciones híbridas, repetidores o incluso distribuida células Pico en el edificio.

Cada uno de estos enfoques tienen sus pros y sus contras, todo dependiendo del proyecto en cuestión. Un enfoque de diseño podría ser perfecto para un proyecto, pero una muy mala elección para el próximo proyecto - todo depende de la construcción, y los requisitos de diseño para el proyecto actual y las necesidades futuras en el edificio.

Visto exclusivamente desde una planificación de radio perceptiva lo ideal sería seleccionar el sistema que puede dar la potencia de enlace descendente más en los puntos de la antena y la carga menor ruido y la pérdida en el enlace ascendente de la estación base, y al mismo tiempo proporcionar una cobertura uniforme y un buen aislamiento a la red macro. En la parte superior de la exigencia de la planificación de radio, otros parámetros como el tiempo de instalación y los costes, la vigilancia y la capacidad de actualización desempeñan un papel significativo.

Tradicionalmente los Sistemas de antenas distribuidas pasivos se han utilizado ampliamente para GSM en los últimos 15 años. Por lo tanto, naturalmente, muchos planificadores de radio verán esto como la primera opción en el diseño de la cobertura en interiores para los sistemas 3G. Sin embargo, es un hecho que, para UMTS y especialmente para HSPA, sistemas de antenas distribuidas activos a menudo dará el mejor rendimiento del enlace de radio y velocidades de datos más altas.

El principal efecto degradante de los sistemas pasivos es las elevadas pérdidas, degradando el nivel de potencia en los puntos de la antena y el aumento de la cifra de ruido de la estación base en las frecuencias más altas utilizadas para UMTS / HSPA. UMTS y HSPA pueden realizar realmente la transmisión de datos de alta velocidad, pero sólo si la calidad del enlace de radio es suficiente, y los sistemas pasivos serán en gran medida comprometer el rendimiento.

Otra gran preocupación con sistemas de antenas distribuidas pasivos es la falta de supervisión. Si se desconecta un cable de la estación base no generará ningún radio (VSWR) de alarma de onda de tensión de pie, debido a la alta pérdida de retorno a través del sistema de antenas distribuidas pasiva. Sistemas de antenas interiores distribuidos se implementan en los edificios más importantes, al servicio de los usuarios más importantes, la generación de ingresos en nuestra red. Seguramente usted prefiere tener la vigilancia de cualquier problema en el sistema DAS.

Por otro lado, los sistemas pasivos son relativamente fáciles de diseñar; y los componentes y cables son rígidos y sólidos, si se instala correctamente. Sistemas de distribución de pasivos pueden ser instalados en ambientes muy agresivos, instalaciones de producción húmeda y polvorienta, túneles, etc., lugares donde los componentes activos fallen fácilmente si no protegido de las inclemencias del ambiente.

Los sistemas de distribución de pasivos pueden ser diseñados de manera que realizan a altas velocidades de datos, incluso para soluciones HSPA de interior - pero sólo para relativos pequeños edificios, proyectos donde usted puede diseñar el sistema de distribución pasiva con una baja pérdida.

Es importante que el diseñador de radio sepa los fundamentos de todos los diferentes tipos de soluciones de distribución de la cobertura en interiores. En muchos proyectos la mejor solución será una combinación de los diversos tipos de hardware de distribución.

Una buena planificación de radio interior se trata de tener una caja de herramientas bien equipada; si usted tiene más herramientas en su caja de herramientas, es más fácil para hacer el diseño óptimo para la solución de interior. Tener sólo un martillo podría resolver muchos problemas. Si sólo conoce acerca

de la distribución pasiva, aprender acerca de las posibilidades y limitaciones de distribución activa, repetidores y células Pico.

Esto le ayudará a diseñar sistemas de alto rendimiento de distribución de la cobertura en interiores que son el futuro y pueden hacer un caso de negocios sólido. Después de todo es por eso que está aquí - para generar ingresos en la red.

### **Simulación de la Propagación para el Sistema Indoor**

El criterio en el cuál se basó para proponer la arquitectura del sistema están en función de la topología del lugar, este tipo de solución es muy flexible para su ubicación, se pretende interconectar mediante una salida Ethernet el Master Unit el cuál mediante cables IT se ubicará a un RU el cual estará conectado a la Antena. Para evitar que las cargas estén desacopladas se requerirá que la salida del RU tenga una impedancia de 50 Ohmios, la cuál será la misma Impedancia que estará en la Antena para que estén acopladas.

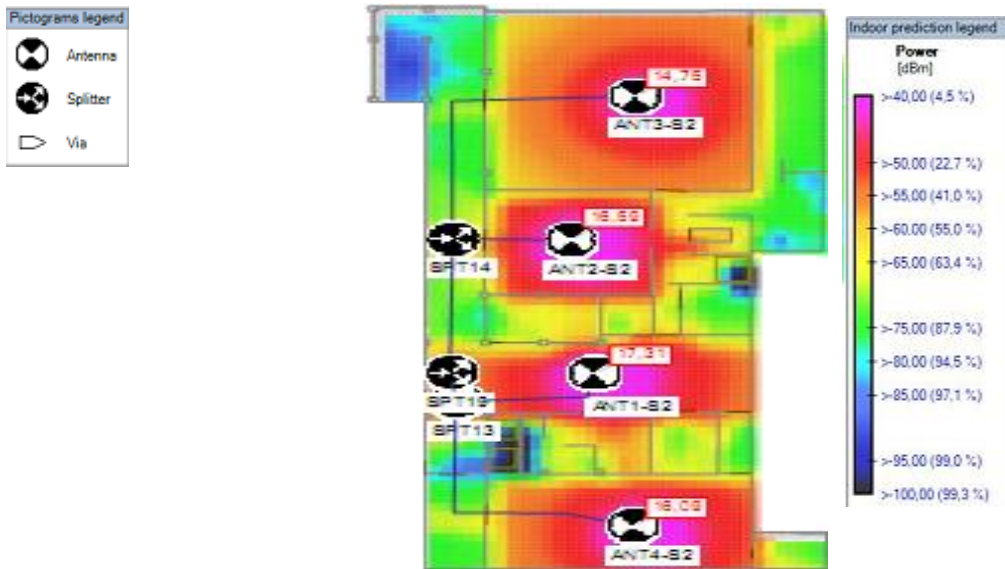
Para la propuesta se eligieron 4 antenas, debido a que son las que se requieren para tener niveles de -40dBm a -75dBm (Ver Figura 17).



**Figura 16. Distribución de las 4 Antenas para Radiar en el FoodCourt**

A continuación cuando se hace la simulación a una Frecuencia de 1900Mhz para tecnología WCDMA para determinar la cobertura en el FoodCourt de Metrocentro, teniendo el siguiente resultado:

## “Diseño de un Sistema Indoor de Telefonía Móvil en el Centro Comercial Metrocentro”



**Figura 17. Cobertura IndoorFoodCourt**

Se puede observar que los niveles para la cobertura 3G son excelentes, ya que porcentualmente se tiene un 87.9% a -75dBm.

La herramienta utilizada fue el software Ibwave con el obtuvimos los resultados para la propagación dentro del centro comercial, Esta herramienta el tutor la prestó a una empresa xxx<sup>2</sup> que desarrollo sistemas DAS. La simulación se realizó con antenas de 9dBI, con una potencia de 43dBm en la banda 1900Mhz, la herramienta de planeación únicamente tenía el módulo para la banda 1900Mhz para WCDMA por esa razón únicamente se hizo la simulación en esa frecuencia.

<sup>2</sup> Por acuerdo de confidencialidad no podemos decir en nuestro trabajo el nombre de la empresa que nos facilitó el equipo para la simulación de la propuesta.

## **V. CONCLUSIONES**

Para realizar la propuesta de diseño, se realizó un estudio de campo (Walk Test) para determinar los niveles de potencia en el Centro Comercial Metrocentro. Los resultados fueron interesantes ya que en dependencia de la zona del centro comercial se tienen valores de RSCP: buenos, aceptables y malos. Esto depende precisamente del tipo de infraestructura del Centro Comercial Metrocentro que incide en la magnitud de los niveles de recepción que tiene el equipo celular.

Según el Walk Test el lugar donde los niveles de RSCP son malos es en el Food Court, ya que ahí es donde se presentaron los peores niveles, por ello la propuesta de diseño está dirigida precisamente para ese sitio. También se hicieron pruebas de campo en ambas plantas de todo el Centro Comercial para ambas operadoras y el parqueo externo que está contiguo al segundo nivel.

Se realizaron pruebas de capacidad únicamente 3 horas a partir de las 11.30 am en el Food Court, dónde se pudo determinar que hay problemas con la velocidad de datos. Esto está relacionado parcialmente a la señal que brindan ambas operadoras.

En base a los niveles de RSCP para ambas operadoras se realizó una simulación de un sistema DAS con 4 antenas omnidireccionales de 9dbi, dicha simulación se realizó a una frecuencia de 1900mhz. Sin embargo, el tipo de antenas son Dual Band, por lo que perfectamente ambas operadoras podrían radiar, únicamente habría que considerar que si la frecuencia es menor, entonces habrá mayor cobertura debido a que la longitud de ondas electromagnéticas que son radiadas por las antenas serán mayores, lo que implicará en un comportamiento más tangencial y por tanto se logrará una mayor capacidad de penetración.

## **VII.BIBLIOGRAFIA**

**[1]-** TELCOR - Ley No. 200-Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales

**[2]-** Comunicaciones Móviles.

Por: José María Hernando Rábanos -Catedrático del departamento de Señales, sistemas y radiocomunicaciones de la E.T.S.I de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid.

Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A.

**[3]-** Indoor Radio Measurement and Planning for UMTS/HSPDA with Antennas/2013.

Theses and Dissertations.

Por: MarcellinusIheanyiEheduru.

University of Wisconsin-Milwaukee.

**[4]-** Total Indoor Coverage Techniques Evaluation of Propagation Lost in Lifts. Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid/

Por: Mariano Martínez, Domingo Spiegelhalder, Rafael Herradón Díez, Florentino Jiménez Muñoz.

Telefónica Móviles España.

**[5]-**Retos de las Operadoras ante la banda ancha móvil.

Telecomunicaciones –Dpto . Marketing y Comunicación.

Management Solutions –España 2010

**[6]-** Ingeniería de Trafico Wikipedia -Dirección Web:

[[http://es.wikipedia.org/wiki/Ingeniera\\_de\\_trafico\\_\(Telecomunicaciones\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ingeniera_de_trafico_(Telecomunicaciones))]



**[7]-** UMTS Mobile Communications for the Future.

Edited by :FlavioMuratore , CSELT , Telecom Italia Group , Italy.

**[9]-** TELCOR – LEY N° 182- Ley de Defensa de los Consumidores.

Gaceta N°213 -Noviembre de 1994.

**[10]-** TELCOR- Reglamento para la Elaboración y/o Modificación de los Planes Nacionales de Encaminamiento, Disponibilidad y Seguridad del Tráfico de los Servicios y redes de Telecomunicaciones.

Acuerdo Administrativo N° 001-2004.

Managua, Nicaragua - Enero-2004.

**[11]-** TELCOR - Ley de Antenas - Guía Para la Construcción de Instalación de Antenas Para Mejorar las Telecomunicaciones en Nicaragua.

Consultora: Verónica Ramírez P - Marzo del 2005.

**[12]-** TELCOR – Reglamento de Promoción y Defensa de la Competencia en el Mercado de las Telecomunicaciones.

Acuerdo Administrativo No. 20-2005- Octubre del 2005.

**[13]-** UIT-T –Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. (05/2010).

SERIE D: Principios Generales de Tarificación.

Términos y definiciones para las Recomendaciones de la serie D.

Recomendación. UIT-T D.000.

**[14]-** WCDMA FOR UMTS.

Radio Access for Third Generation Mobile Communications - Third Edition.

Edited by :HarriHolma and AnttiToskala - both of Nokia, Finland .

**[15]-** W-CDMA and CDMA 2000 for 3G MOBILE NETWORKS.

Edited by: M.R Karim and M.Sarraf.

**[16]-** Wireless & Cellular Telecommunications -Third Edition.

Edited by : William C.V.Lee,Ph.D

**[17]-** Information Technology: Transmission, Processing, and Storage

Wireless Communications Systems and Networks.

Editedby: MohsenGuizani.

**[18]-** Aldo Duarte Vera Tudela. Diseño e Implementación de una red RF Indoor en el Hospital de Emergencias Pediátricas para Mejora de Cobertura. Universidad Católica de Perú. 2013.

**[19]-** A John Wiely&Sons. Indoor Radio Planning.”

**[20]-** <http://www.ibwave.com/Products/iBwaveDesign.aspx>